

# Wahrnehmungsbasierte Routenwahl im Brandfall

Benjamin Schröder, David Haensel,  
Mohcine Chraibi, Lukas Arnold,  
Armin Seyfried, Erik Andresen

Bergische Universität Wuppertal  
LuFG Computersimulation im Brandschutz und Fußgängerverkehr

# MOTIVATION



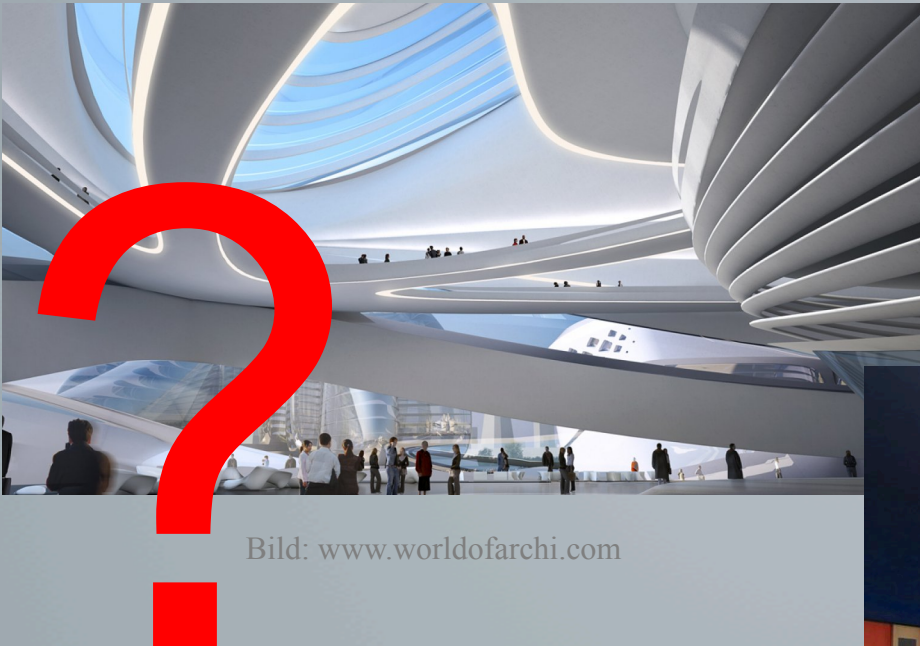
# MOTIVATION



§ 33 MBO:  
Für Nutzungseinheiten [...] müssen in jedem Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege ins Freie vorhanden sein.

§ 36 MBO:  
Notwendige Flure sind [...] in Rauchabschnitte zu unterteilen.

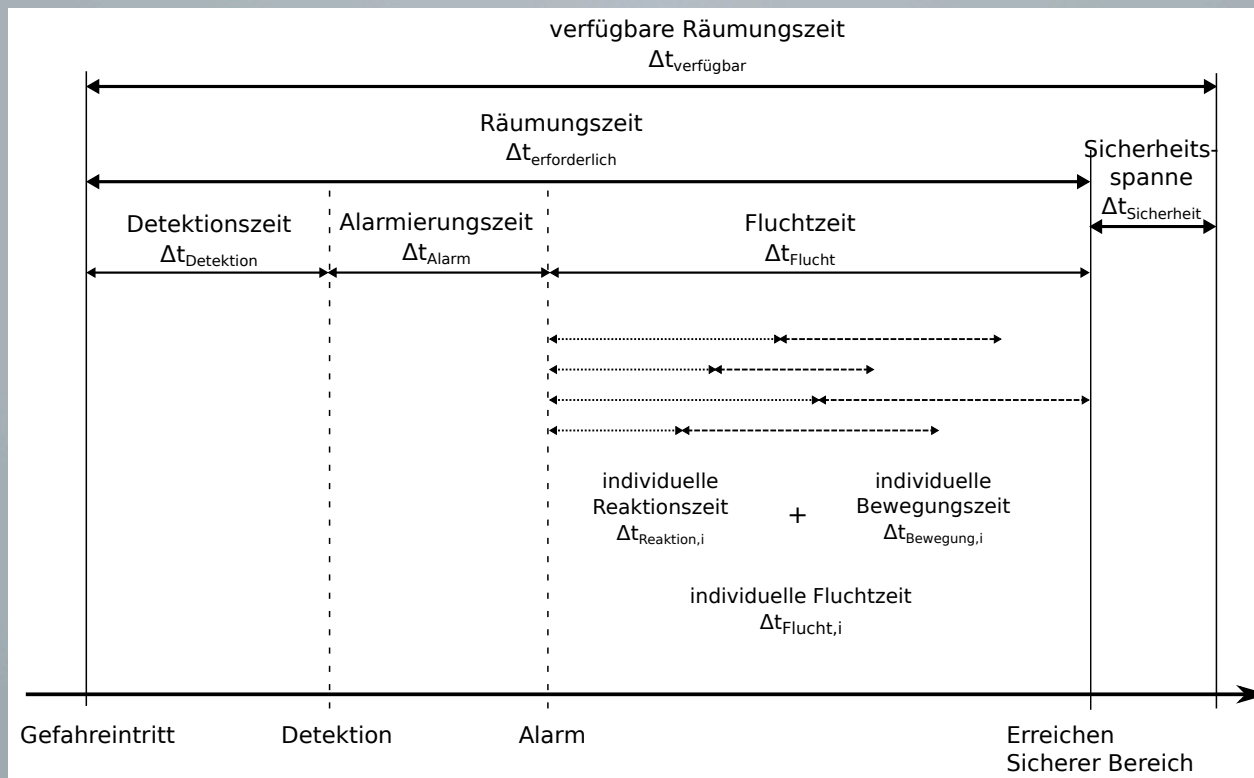
# MOTIVATION





# MOTIVATION

- Leistungorientierte Nachweisführung: ASET/RSET – Konzept



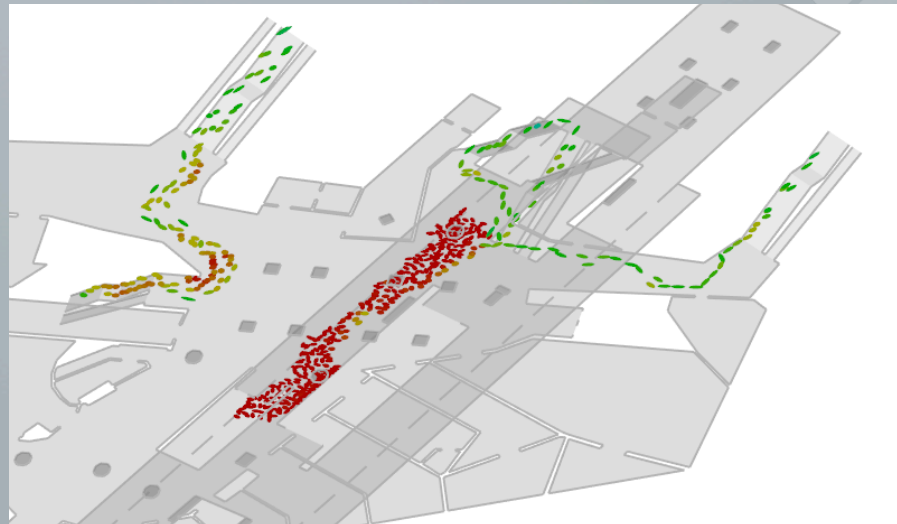
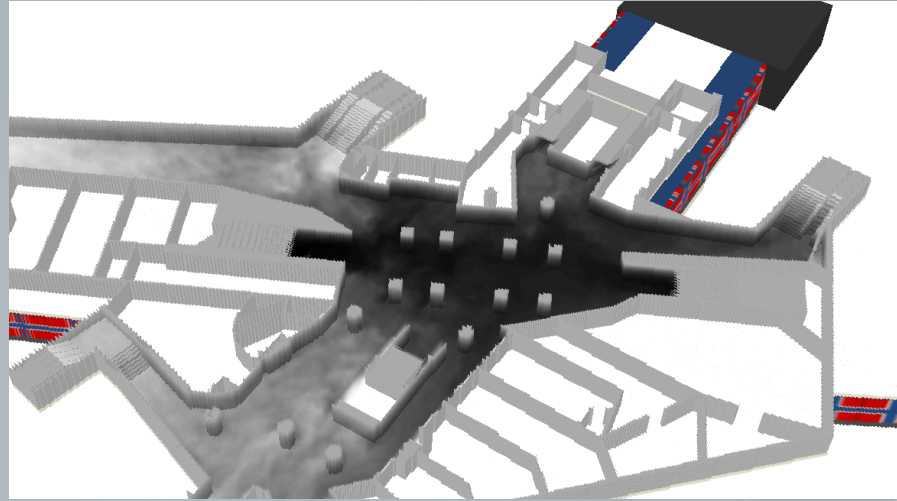
[6]

# MOTIVATION

ASET

>

RSET



## MOTIVATION

- Nachweisziel:  $ASET > RSET$
- Herausforderung: lokale und temporale Auflösung, multiple Akzeptanzkriterien
- Identifikation der maßgeblichen Szenarien
- Problem: Interaktion zwischen ASET und RSET  
Berechnung VOR dem Überschreiten von Akzeptanzkriterien

## MOTIVATION

- Kopplungsansätze können die Dynamik abbilden
- Meistens basierend auf der operationalen Modellebene
- Erweiterung mit Bezug auf die taktische Modellebene
  - Wahrnehmung
  - Entscheidungsfindung



Hierarchy of motion [1]



## MOTIVATION

- Kopplungsansätze können die Dynamik abbilden
- Meistens basierend auf der operationalen Modellebene
- Erweiterung mit Bezug auf die taktische Modellebene
  - Wahrnehmung
  - Entscheidungsfindung



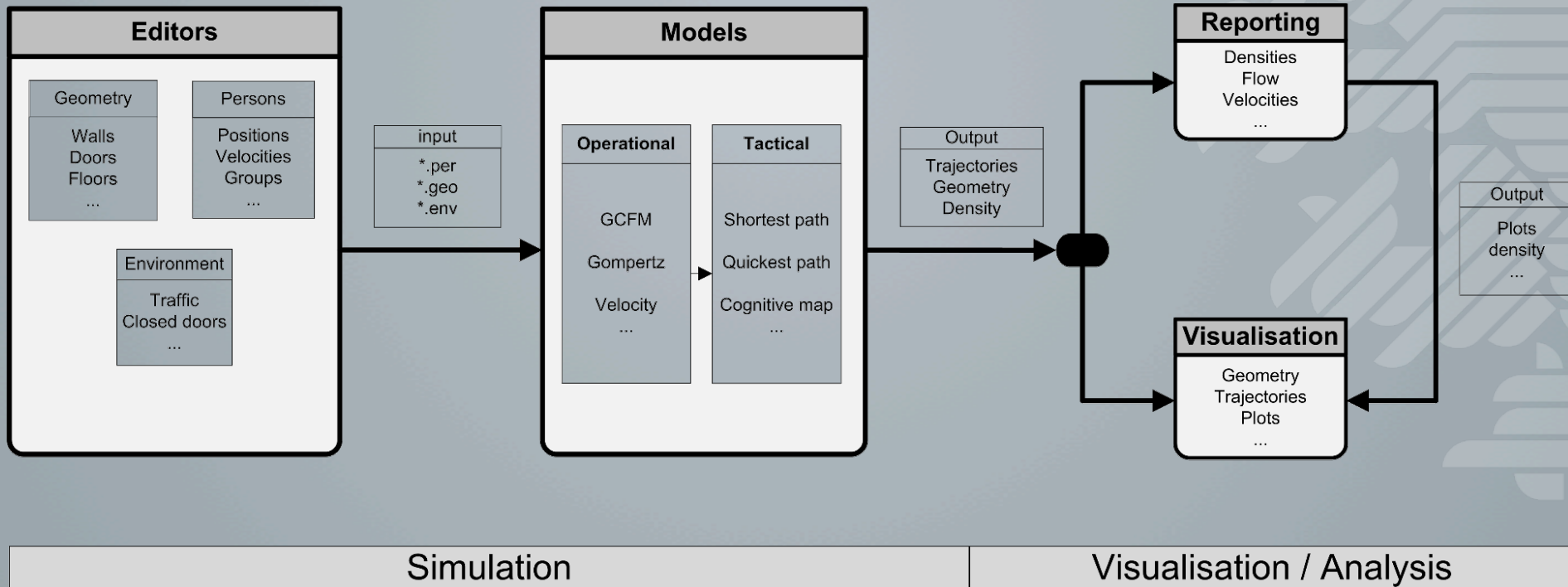
Hierarchy of motion [1]



# JÜLICH PEDESTRIAN SIMULATOR

# JÜLICH PEDESTRIAN SIMULATOR

- open-source Forschungs-Framework zur Simulation und Analyse von Personenströmen [2]



# COGNITIVE MAP KONZEPT





## COGNITIVE MAP KONZEPT

- Grundlagenforschung durch E.C. Tolman [3] und Fortführung durch B. Kuipers [4, 5]

### *Cognitive map:*

Gesamtheit topologischer und metrischer Zusammenhänge, die aus Beobachtungen, allgemeinen Konventionen und bereitgestellten Informationen abgeleitet werden.

- agentenbasierte Implementierung



# COGNITIVE MAP KONZEPT

## Wissen

- 1. Ordnung: räumliche Informationen (metrische Karte)
- 2. Ordnung: zusätzliche Informationen

## Wahrnehmung

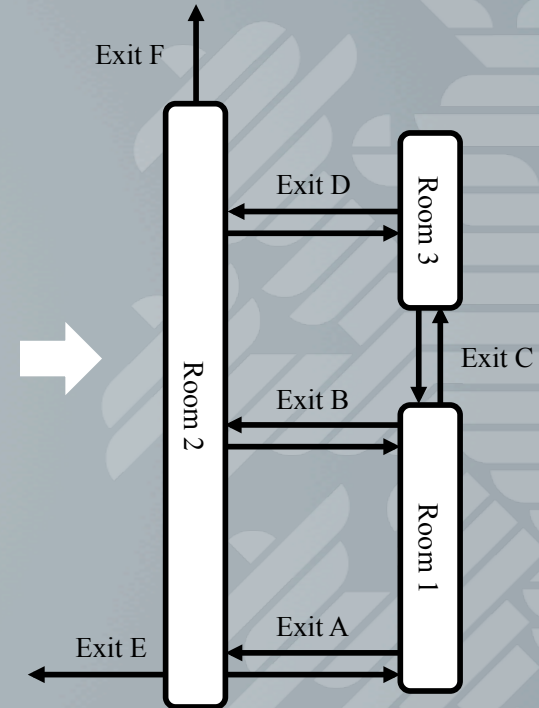
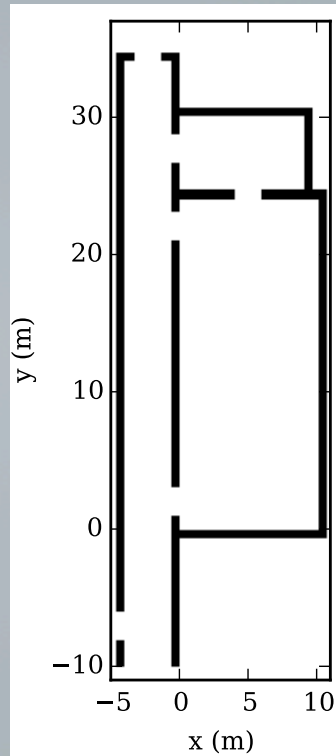
- Umsetzung durch Sensoren

## Entscheidung

- Kostenberechnung auf einem Graph-Netzwerk

# COGNITIVE MAP KONZEPT

- Abbildung von Wissen 1. Ordnung durch einen Graphen
- Räume = Knoten
- Türen = Kanten



- Kantengewichtung:

$$w_{ij} := d_{ij} \cdot g(F_{ij}), \quad g(F_{ij}) := \prod_{f_k \in F_{ij}} f_k$$

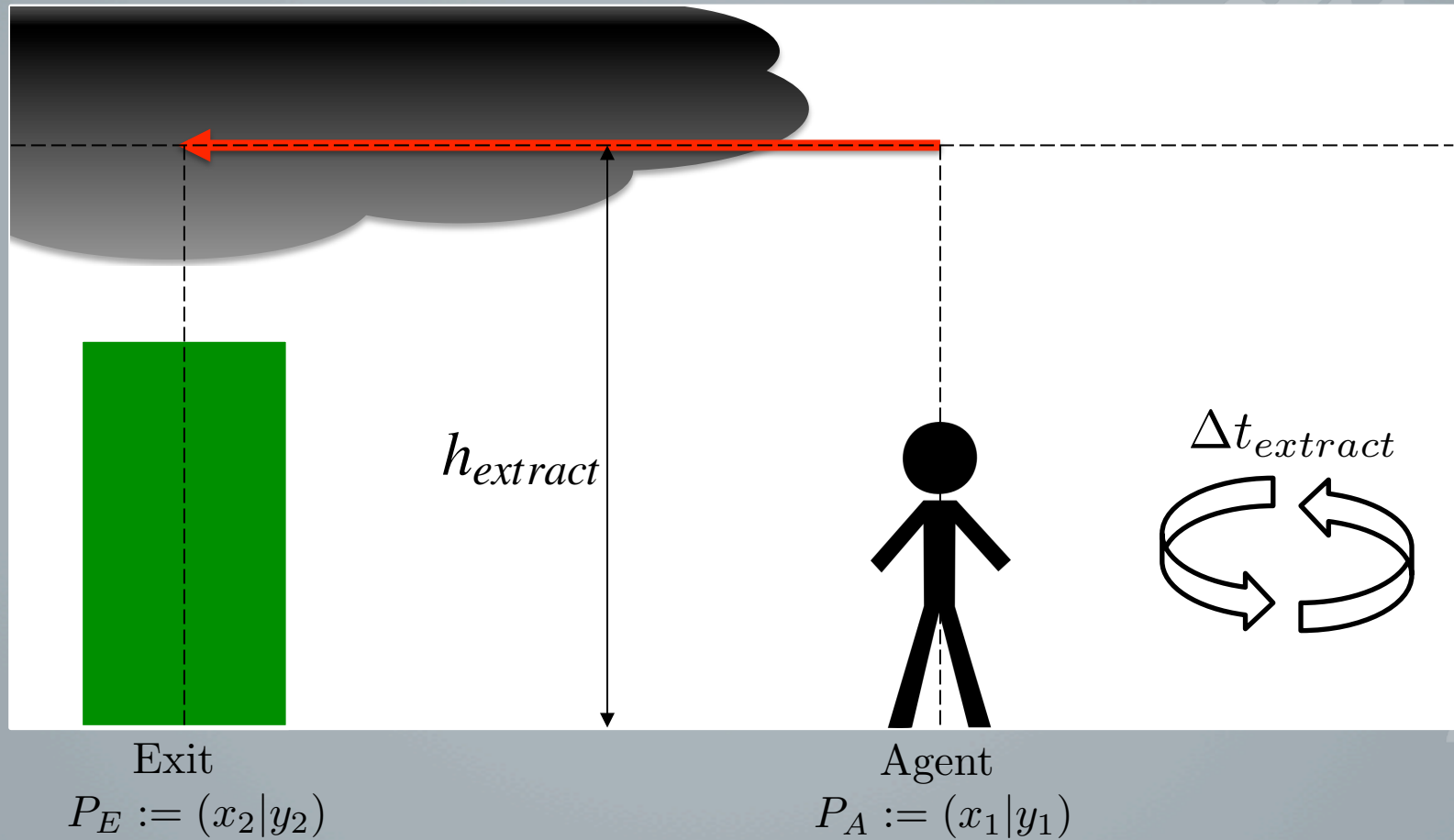
# SMOKE SENSOR



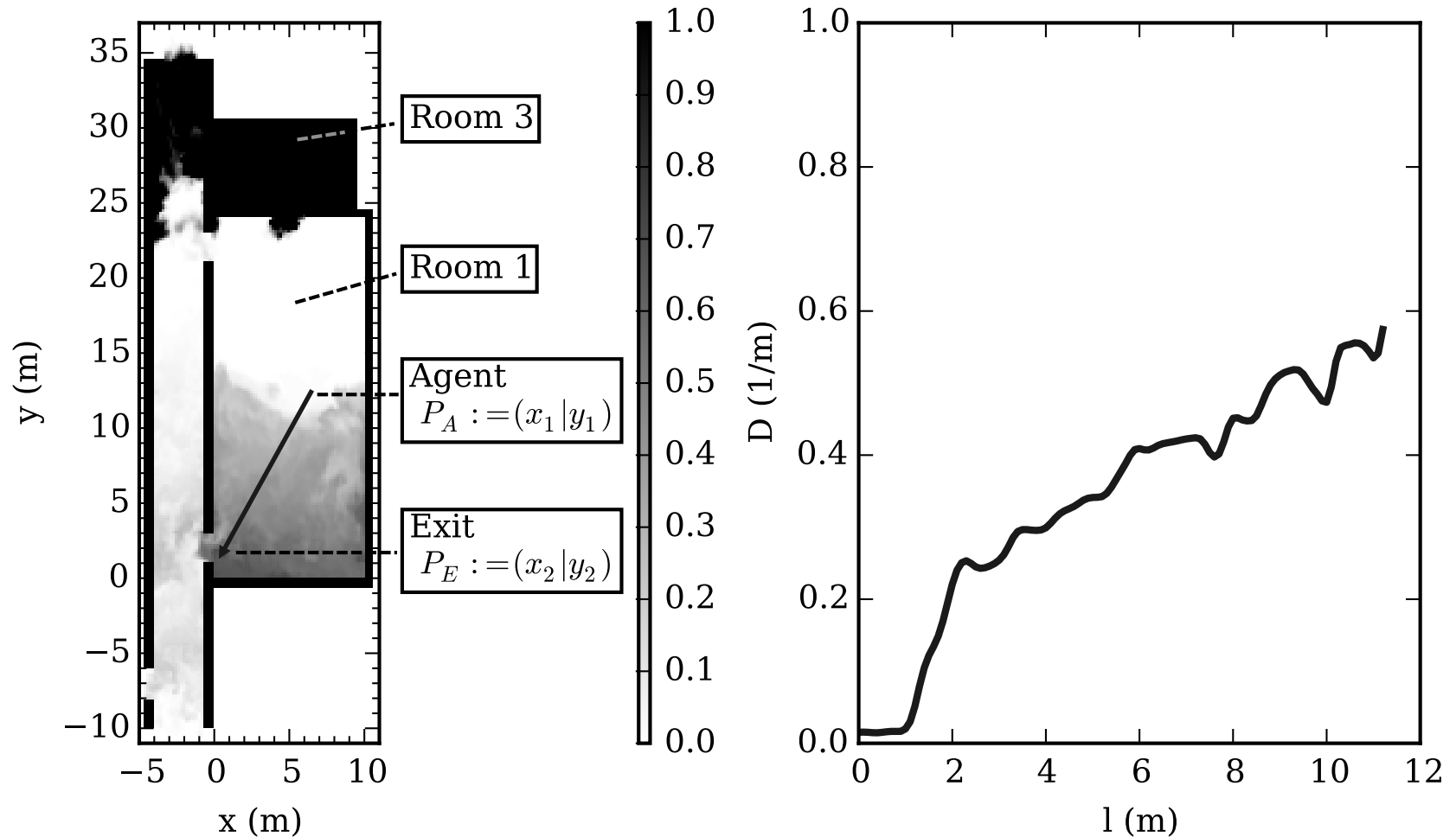
## SMOKE SENSOR

- Sensor: Eingabekanal zur Versorgung des Entscheidungs-Submodells mit Wissen 2. Ordnung
- Hier: Smoke-Sensor zur Modellierung der Wahrnehmung von Rauch im Sichtfeld
- Aufbereitung von Felddaten aus CFD-Brandsimulation (Optische Dichte)
- zyklische Verarbeitung im Routing-Submodell

# GRUNDSÄTZLICHE IDEE



# VERARBEITUNG DER OPTISCHEN DICHTE



## BERECHNUNG EINES KANTENFAKTORS

- Faktor  $f_{smoke}$

$$f_{smoke} = \frac{\max\{D(l)_{AE}\}}{\max\{D(l)_{AE_{all}}\}} \cdot \int_{P_A}^{P_E} D(l, h_{extract}, \Delta t_{extract}) dl,$$

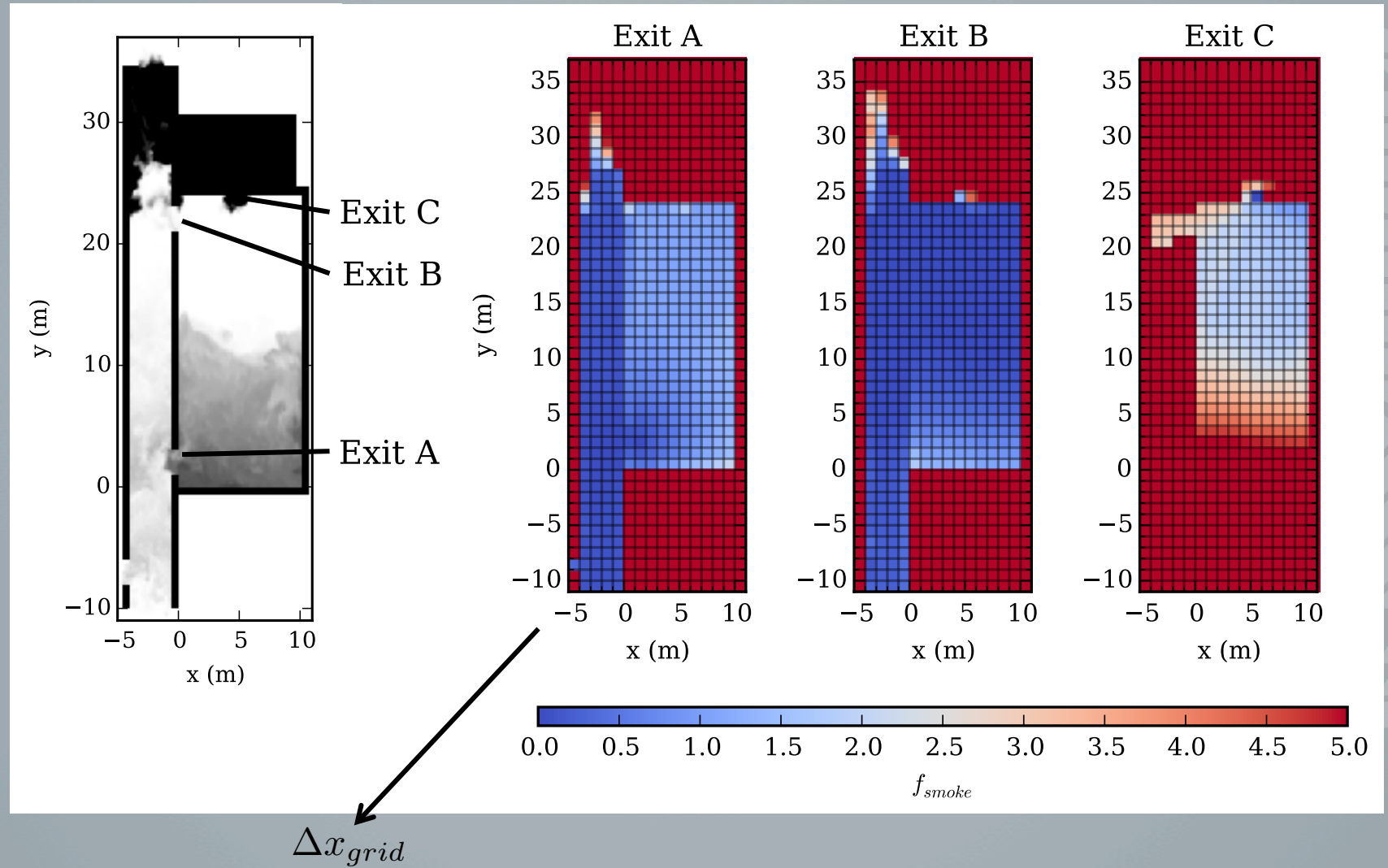
where

$\max\{D(l)_{AE}\}$  is maximum of the optical density along the perception vector,

$\max\{D(l)_{AE_{all}}\}$  is maximum of the optical density along all perception vectors to all exits.

- Berücksichtigung beliebiger Agentenpositionen durch eine Gitterstruktur





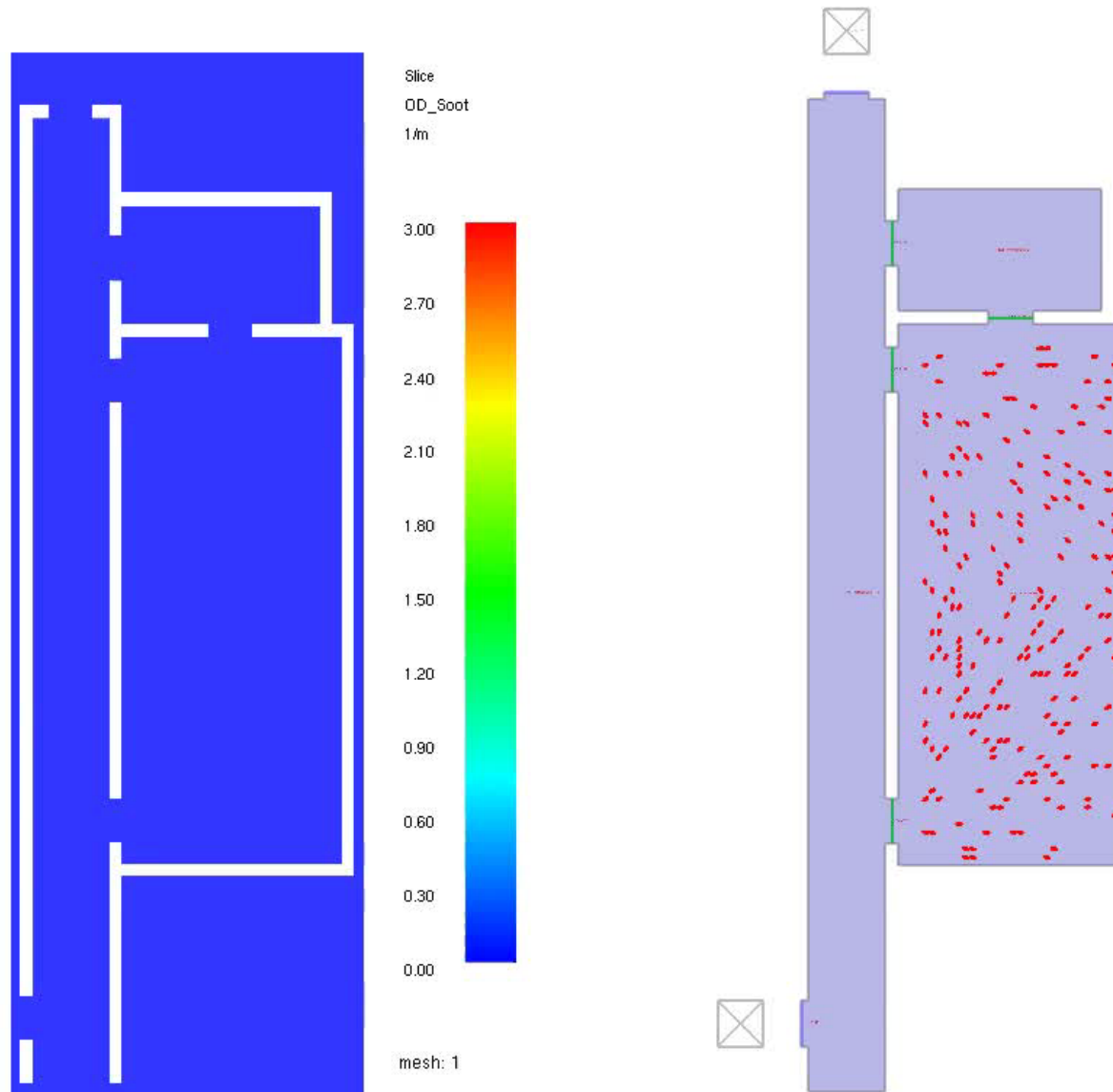
## BERÜCKSICHTIGUNG VON UNSICHERHEITEN

- Einführung eines Risikotoleranz-Faktors, um die Variabilität hinsichtlich des menschlichen Verhaltens zu modellieren
- Zusammenführung aus Wahrnehmung und Risikotoleranz:

$$f_{k_{smoke}} = 1 + 2 \cdot f_{smoke} \cdot (1 - f_{risk})$$

$$f_{k_{smoke}} = \begin{cases} 1 \\ > 1 \end{cases} \rightarrow \text{edge weight} = \begin{cases} \text{neutral} \\ \text{expensive} \end{cases}$$

# QUALITATIVE VERIFIKATION



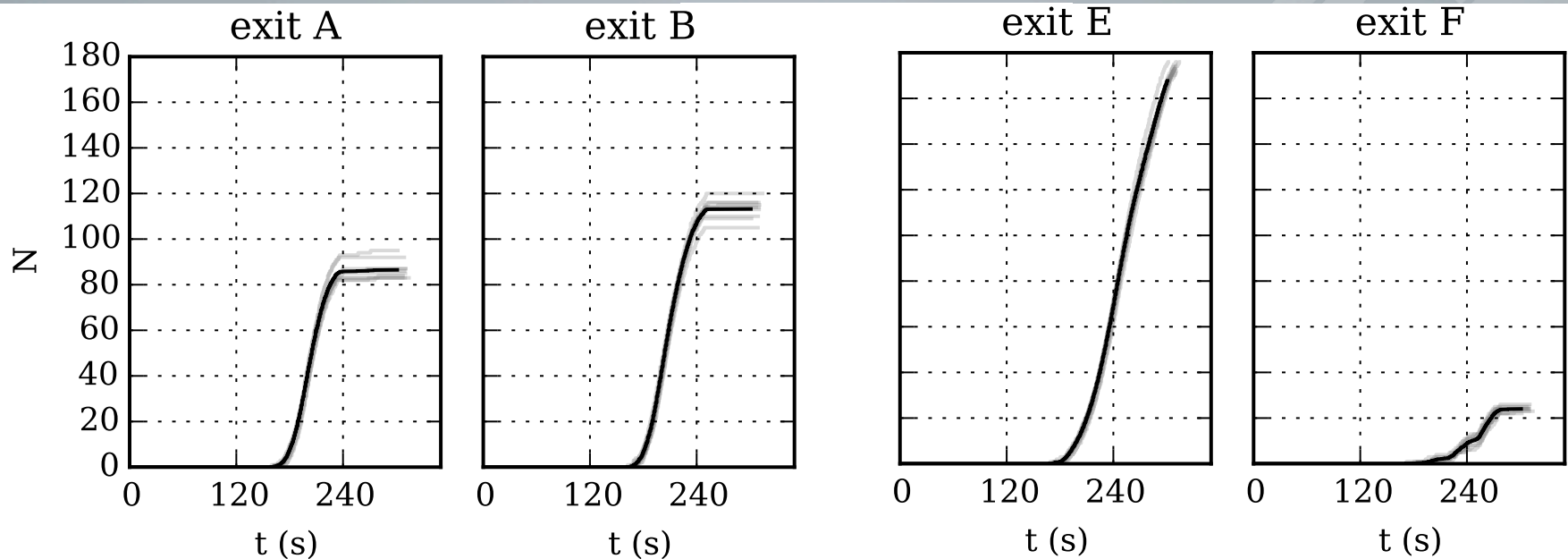
# SENSITIVITÄTSANALYSE

Parameter	Description	Value	Static	Variable
$N$	Number of occupants	200	✓	
$t_{pre}$	Pre-evacuation time	normal distribution $\mu = 120 \text{ s}$ , $\sigma = 60 \text{ s}$	✓	
$v_0$	Desired velocity	normal distribution $\mu = 1.0 \text{ ms}^{-1}$ , $\sigma = 0.2 \text{ ms}^{-1}$	✓	
$h_{extract}$	Extraction height	$h_{extract} = 2 \dots 3.0 \text{ m}$		✓
$\Delta t_{extract}$	Extraction time intervall	$\Delta t_{extract} = 15 \dots 60 \text{ s}$		✓
$\Delta x_{grid}$	Smoke factor grid resolution	$\Delta x_{grid} = 0.25 \dots 4 \text{ m}$		✓
$f_{risk}$	Individual risk tolerance factor	truncated normal distribution $\mu = 0.4 \dots 0.8$ , $\sigma = 0.1$		✓



# SENSITIVITÄTSANALYSE

- Latin Hypercube Sampling
- 200 samples mit 10 Realisationen



# ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

## ZUSAMMENFASSUNG

- Routenwahl-Framework inspiriert durch die Kognitonswissenschaften.
- Dynamische Routenwahlmuster konnten beobachtet werden.
- Sensitivität der eingeführten Modellparameter wurde ermittelt.

## AUSBLICK

- Optimierung der Datenverarbeitung
- Kalibrierung, repräsentative Parametersampling-Strategien
- Modellerweiterung auf der operationalen Ebene (Gehgeschwindigkeitsreduzierung in Rauch, Intoxikation von Brandprodukten)
- Übertragung auf komplexe Geometrien
- Systematische Analyse der Resilienz komplexer Rettungswegsysteme im Brandfall



**VIELEN DANK!**





## QUELLEN

- [1] S. P. Hoogendoorn, P. Bovy, and W. Daamen, “Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling,” in *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, M. Schreckenberg and S. Sharma, Eds., 2002, pp. 123–155.
- [2] Jülich Pedestrian Simulator, URL: [www.jupdesim.org](http://www.jupdesim.org), 2015.
- [3] Edward C. Tolman. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, Vol 55(4), Jul, 1948. pp. 189-208., 55(4): Start Page: 189, 1948.
- [4] Benjamin Kuipers. Modeling spatial knowledge. *Cognitive Science*, 2(2): 129–153, 1978.
- [5] Benjamin Kuipers. The cognitive map: Could it have been any other way?, 1983.
- [6] Armin Seyfried, Gregor Jäger, Manuel Kitzlinger, Benjamin Schröder: Normierung von Personenstromsimulationen - DIN 18009-2. Tagungsband Braunschweiger Brandschutztag 2015.